

Über erdmagnetische Variationen und ihre möglichen Auswirkungen auf die Atmosphäre

Glaßmeier, Karl-Heinz

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 2012 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.105-108



J. Cramer Verlag, Braunschweig

Über erdmagnetische Variationen und ihre möglichen Auswirkungen auf die Atmosphäre

KARL-HEINZ GLAßMEIER

Sauerbruchstraße 17, D-38116 Braunschweig

Die physikalischen Prozesse, die in der Erde und anderen Himmelskörpern zu globalen Magnetfeldern führen, sind erst in den letzten drei Jahrzehnten deutlich erkennbar geworden. Seit der epochalen Arbeit von Carl-Friedrich Gauß *Allgemeine Theorie des Erdmagnetfeldes* (Gauß, 1839) wissen wir, dass es innere und äußere Quellen für das Erdmagnetfeld gibt. Zu den äußeren Quellen gehören elektrische Ströme in der Ionosphäre und Magnetosphäre. Die inneren Quellen sind einerseits magnetisierte Gesteine der Erdkruste, andererseits Dynamoprozesse im äußeren Kern unserer Erde. Thermo-gravitativ getriebene Konvektion der metallischen Schmelze des Kerns treibt diesen Dynamo, in dem Bewegungsenergie in magnetische Energie umgewandelt wird. Dieser Dynamoprozess ist kein stationärer Prozess, sondern weist deutliche säkulare Variationen auf, die bestens anhand von Beobachtungen des Erdmagnetfeldes an der Erdoberfläche nachgewiesen werden können. So weiß z.B. Philip Christian Ribbentrop in seiner *Beschreibung der Stadt Braunschweig* zu berichten, die Deklination, also die Missweisung zwischen der geographischen und der geomagnetischen Nordrichtung, habe in Braunschweig im Jahre 1789 18° betragen. Heute liegt der Wert der Missweisung bei 2° . Und seit dem Beginn der ersten direkten absoluten Messungen des Feldes durch Carl-Friedrich Gauß vor 180 Jahren hat die Stärke des Erdmagnetfeldes um ca. 10% abgenommen. Gegenwärtig wird die stärkste lokale Abnahme des Erdmagnetfeldes im Bereich der Bermuda Inselgruppe im Atlantik beobachtet. Dort liegt die Feldabnahme bei etwa 150 nT pro Jahr. Nimmt man eine lineare Fortsetzung dieser Abnahme an, dann verschwindet das Erdmagnetfeld dort in 300 Jahren. Andererseits gibt es aber Orte auf der Erde, wo eine deutliche Zunahme des Feldes zu verzeichnen ist, so z.B. östlich von Madagaskar im Indischen Ozean, wo eine Feldzunahme von mehr als 100 nT pro Jahr gemessen wird. Paläomagnetische Untersuchungen, d.h. die Analyse der Magnetisierungseigenschaften von Gesteinen, erlauben weiter einen guten Einblick in die Variationen des Erdmagnetfeldes in der geologischen Vergangenheit. So gilt es als sicher, dass das Erdmagnetfeld vor etwa 12,000 Jahren um 50% stärker war als heute.

* Kurzfassung des am 10.02.2012 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrages.

Der wohl dramatischste Prozess im äußeren Kern der Erde ist jedoch ein sogenannter Polaritätswechsel, ein Prozess in dessen Gefolge der magnetische Nordpol zum magnetischen Südpol und der magnetische Südpol zum magnetischen Nordpol werden. In der geologischen Geschichte gibt es Zeitbereiche (wir befinden uns momentan in einer derartigen Phase) mit sehr häufigen Polaritätswechseln von bis zu fünf Umkehrungen in einer Million Jahre und dann wieder Zeitbereiche mit einer Länge von mehr als 50 Millionen Jahren ganz ohne Feldumkehrungen. Der Prozess der Umkehrung ist aber keinesfalls ein periodischer Vorgang, sondern Folge hochkomplexer, nicht-linearer Vorgänge im äußeren Kern. Fünf Umkehrungen pro Millionen Jahre, also die Zeitspanne von 200,000 Jahren zwischen zwei Polwechseln darf nur als grobe Zeitskala verstanden werden. Die Gründe für dieses unterschiedliche Verhalten des Erdmagnetfeldes sind nach wie vor unbekannt. Eventuell spielen Prozesse im Erdmantel und der Wärmefluss an der Kern-Mantel-Grenze hier eine bisher noch nicht bekannte Rolle.

Die letzte Feldumkehr fand im übrigen vor etwa 780,000 Jahren statt und ist besonders gut untersucht worden (Leonhardt und Fabian, 2007). Dabei konnte gezeigt werden, dass eine Feldumkehr mehrere tausend Jahre dauert, in verschiedenen Regionen der Erde zu unterschiedlichen Zeiten einsetzt und auch zum Abschluss kommt. Eine Umpolung des Feldes beginnt mit inversen Feldzuständen auf der jeweils anderen Hemisphäre, die sich langsam ausbreiten. Dabei nimmt der Dipolanteil ab, während die Anteile höherer Multipole zunehmen und an der Erdoberfläche ein immer schwächer und ungeordneter erscheinendes Magnetfeld bewirken. Die Feldstärke an der Erdoberfläche während einer Umkehr liegt bei 5–10% des normalen Wertes. In einem solchen gestörten Feldzustand ist es durchaus möglich, dass sich der alte Feldzustand wieder regeneriert. Solche Erscheinungen nennt man dann „Exkursionen“ des Feldes. Ebenso wahrscheinlich ist es aber, dass sich der Vorgang fortsetzt und sich schließlich eine umgekehrte Polarität einstellt. Aus den Untersuchungen der Polarität des Erdmagnetfeldes der geologischen Vergangenheit wissen wir, dass beide Polaritäten gleich häufig auftreten. Nach der Umkehr nimmt das Feld dann wieder seine etwa ursprüngliche Stärke an.

Da alle Beobachtungen des rezenten Erdmagnetfeldes auf eine globale Abnahme der Feldstärke hindeuten, könnte man dies als Hinweis auf eine bevorstehende Umkehr deuten. Wissenschaftlich ist dies aber nicht stichhaltig, da wir uns andererseits auch in einer Phase befinden, in der das Feld von hohen Werten vor ca. 10,000 Jahren sich wieder seinem normalen Niveau nähern könnte. Auch wenn die Hypothese einer bevorstehenden Umkehr momentan nicht geprüft werden kann, stellt sich aber doch die Frage, was denn mit der Biosphäre passieren würde, wenn eine Umkehr stattfände.

Welche Rolle spielt dieses so lebhaftes Erdmagnetfeld also für das „System Erde“? Schon lange ist bekannt, dass das Magnetfeld die Strömung des solaren Windes auf der unserer Sonne zugewandten Seite stark abbremst und um die Erde herumlenkt. So entsteht um die Erde herum eine sogenannte Magnetosphäre. Unter normalen Bedingungen des solaren Windes wirken diese Magnetosphäre und damit das Erdmagnetfeld als Schutzschild gegen einen Teil der energiereichen Teilchen aus unserem Sonnensystem und der kosmischen Strahlung. Was passiert aber, wenn während einer Feldumkehr das Magnetfeld sehr stark abnimmt, gibt es dann die Magnetosphäre als Schutzschild noch? Oder ist die Erde dann dem Bombardement energetischer Teilchen schutzlos ausgeliefert und die Biosphäre nimmt Schaden? Über diese Frage ist sehr viel spekuliert worden. Raup (1985) vertritt gar die These, Massenextinktionen könnten Folge magnetischer Feldumkehrungen sein. Eindeutige wissenschaftliche Ergebnisse gibt es zu dieser Fragestellung nicht. Hayes (1971) berichtet zum Beispiel über Radiolariantypen, die während einer Umkehr extinkt sind, während andere Mikroorganismen gerade gute Existenzbedingungen finden. Eine kritische Bewertung bisheriger Untersuchungen geben Glaßmeier und Vogt (2010).

Was passiert aber mit der Magnetosphäre während einer Umkehr? Umfangreiche theoretische Studien und Modellrechnungen zeigen, dass auch während einer Umkehr nicht zu erwarten ist, dass die Erde keine Magnetosphäre mehr besitzt. In jedem zu erwartenden Falle ist mit der Existenz einer Magnetosphäre zu rechnen, nur rückt die Magnetopause, die Grenzschicht zwischen dem interplanetaren Medium und der Geosphäre, deutlich näher an die Erdoberfläche heran. Sie erreicht aber niemals, nach jetzigem Stand der Erkenntnis, die oberen Atmosphärenschichten (Siebert, 1977; Glaßmeier u.a., 2004; Vogt u.a., 2007). Zu erwarten ist jedoch eine deutlich dynamischere Magnetosphäre mit gravierenden Auswirkungen auf technische Systeme im Weltraum.

Die Biosphäre ist aber möglicherweise indirekt betroffen. Wegen des schwächeren Magnetfeldes haben es energetische Teilchen einfacher, in die obere Atmosphäre einzudringen. Dort kommt es dann zu einer erhöhten Produktion von z.B. Stickoxiden (z.B. Reid u.a., 1976), die, bedingt durch vertikalen Transport, in der Stratosphäre einen deutlichen Abbau des Ozons bewirken. Die globale Modellierung dieser Prozesse unter den Bedingungen eines sehr kleinen Erdmagnetfeldes durch Sinnhuber u.a. (2003) zeigt dann deutlich die Entstehung eines natürlichen Ozonloches in den Polargebieten der Erde mit einer beträchtlichen Zunahme der UV-Belastung an der Erdoberfläche. Erste Versuche, die Folgen eines solchen Ozonloches für aquatische Ökosysteme, d.h. für das Plankton der Polarmeere zu verstehen, beschreiben Glaßmeier u.a. (2009) und Richter (2013). Wegen weiterer Details zum hier diskutierten Problemkreis wird auf Glaßmeier u.a. (2010) verwiesen.

Literaturhinweise

GAUSS, C.F.: Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus, in: Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1838, hrsg. von C.F. Gauß und W. Weber, S. 1–57, Weidmannsche Buchhandlung, Leipzig, 1839.

GLASSMEIER, K.H., J. VOGT, A. STADELMANN & S. BUCHERT: Concerning long-term geomagnetic variations and space climatology, *Ann. Geophys.* **22**, 3669–3677, 2004.

GLASSMEIER, K.H., H. SOFFEL & J. NEGENDANK (Hrsg.): *Geomagnetic Field Variations*, Springer, Berlin, 2009.

GLASSMEIER, K.H., O. RICHTER, J. VOGT, P. MÖBUS & A. SCHWALB: The Sun, geomagnetic polarity transitions, and possible biospheric effects: review and illustrating model, *Int. J. Astrobiol.* **8**, 147–159, 2009.

GLASSMEIER, K.H. & J. VOGT: Magnetic Polarity Transitions and Biospheric Effects - Historical Perspective and Current Developments, *Space Sci. Rev.* **155**, 387–410, 2010.

HAYS, J.D.: Faunal extinctions and reversals of the Earth's magnetic field, *Geol. Soc. Am. Bull.* **82**, 2433–2447, 1971.

LEONHARDT, R. & K. FABIAN: Paleomagnetic reconstruction of the global geomagnetic field evolution during the Matuyama-Brunhes transition: Iterative Bayesian inversion and independent verification, *Earth Planet. Sci. Lett.* **253**, 172–195, 2007.

RAUP, D.M.: Magnetic reversals and mass extinctions, *Nature* **314**, 341–343, 1985.

REID, G.C., I.S.A. ISAKSEN, T.E. HOLZER & P.J. CRUTZEN: Influence of ancient solar-proton events on the evolution of life, *Nature* **259**, 177–179, 1976.

RIBBENTROP, PHILIP CHRISTIAN: *Beschreibung der Stadt Braunschweig*, Band 1, S. CLXXXX, Meyer, Braunschweig, 1789.

RICHTER, O.: UV Strahlung in aquatischen Ökosystemen, *Jahrbuch 2012 Wiss. Ges.*, 109–112, 2013.

SIEBERT, M.: Auswirkungen der säkularen Änderung des erdmagnetischen Hauptfeldes auf Form und Lage der Magnetosphäre und die Stärke der erdmagnetischen Aktivität, *Abh. Braunschw. Wiss. Ges.* **37**, 281–309, 1977.

SINNHUBER, M., J.P. BURROWS, M.P. CHIPPERFIELD, C.H. JACKMAN, M.B. KALLENRODE, K.F. KÜNZI & M. QUACK: A model study of the impact of magnetic field structure on atmospheric composition during solar proton events, *Geophys. Res. Lett.* **30**, ASC 10–1, 2003.

VOGT, J., B. ZIEGER, K.H. GLASSMEIER, A. STADELMANN, M.B. KALLENRODE, M. SINNHUBER & H. WINKLER: Energetic particles in the paleomagnetosphere: Reduced dipole configurations and quadrupolar contributions, *J. Geophys. Res.* **112**, 6216–6223, 2007.